

**ONTOLOGIAS E GRAFOS DE CONHECIMENTO NA GESTÃO PÚBLICA
UNIVERSITÁRIA: A IFES-GENIUS-EXT COMO FERRAMENTA PARA
TRANSPARÊNCIA E AUDITORIA INTELIGENTE**

**ONTOLOGIES AND KNOWLEDGE GRAPHS IN PUBLIC UNIVERSITY
MANAGEMENT: THE IFES-GENIUS-EXT AS A TOOL FOR TRANSPARENCY
AND INTELLIGENT AUDITING**

**ONTOLOGÍAS Y GRAFOS DE CONOCIMIENTO EN LA GESTIÓN DE
UNIVERSIDADES PÚBLICAS: IFES-GENIUS-EXT COMO HERRAMIENTA
PARA LA TRANSPARENCIA Y LA AUDITORÍA INTELIGENTE**



10.56238/revgeov17n3-191

Márcio Cledes

Mestre

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Orcid: 0000-0003-1260-3901

Rogério Cid Bastos

Doutor

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Orcid: 0000-0002-3775-1516

RESUMO

O artigo propõe uma abordagem inovadora para a gestão pública universitária baseada em ontologias e grafos de conhecimento, tendo como estudo de caso a ontologia IFES-GENIUS-EXT. A pesquisa fundamenta-se nas metodologias METHONTOLOGY e NeOn, integrando fundamentos teóricos da Engenharia e Gestão do Conhecimento com aplicações práticas em Instituições Federais de Ensino Superior (IFES). O modelo proposto visa aprimorar a representação, a interoperabilidade e o raciocínio sobre dados institucionais de planejamento, indicadores de desempenho e investimentos financeiros. Por meio de uma estrutura formal expressa em OWL e RDF, a ontologia promove integração semântica entre sistemas administrativos, possibilitando auditorias inteligentes e maior transparência pública. O estudo também discute os desafios da governança semântica em ambientes universitários, propondo mecanismos de manutenção colaborativa e uso de padrões nacionais (VCGE, DCAT-AP.br, e-SIC). Conclui-se que a IFES-GENIUS-EXT constitui um passo significativo para consolidar o uso de Grafos de Conhecimento na gestão universitária, oferecendo suporte à accountability e à auditoria inteligente em contextos públicos brasileiros.

Palavras-chave: Engenharia do Conhecimento. Ontologias. Gestão Pública. Instituições Federais de Ensino Superior. Grafos de Conhecimento.

ABSTRACT

This article proposes an innovative approach to public university management based on ontologies and knowledge graphs, using the IFES-GENIUS-EXT ontology as a case study. The research is based on



METHONTOLOGY and NeOn methodologies, integrating theoretical foundations of Engineering and Knowledge Management with practical applications in Federal Institutions of Higher Education (IFES). The proposed model aims to improve the representation, interoperability, and reasoning about institutional planning data, performance indicators, and financial investments. Through a formal structure expressed in OWL and RDF, the ontology promotes semantic integration between administrative systems, enabling intelligent audits and greater public transparency. The study also discusses the challenges of semantic governance in university environments, proposing mechanisms for collaborative maintenance and the use of national standards (VCGE, DCAT-AP.br, e-SIC). It is concluded that IFES-GENIUS-EXT constitutes a significant step towards consolidating the use of Knowledge Graphs in university management, offering support for accountability and intelligent auditing in Brazilian public contexts.

Keywords: Knowledge Engineering. Ontologies. Public Management. Federal Institutions of Higher Education. Knowledge Graphs.

RESUMEN

Este artículo propone un enfoque innovador para la gestión de universidades públicas basado en ontologías y grafos de conocimiento, utilizando la ontología IFES-GENIUS-EXT como caso de estudio. La investigación se fundamenta en las metodologías METHONTOLOGY y NeOn, integrando los fundamentos teóricos de la Ingeniería y la Gestión del Conocimiento con aplicaciones prácticas en Instituciones Federales de Educación Superior (IFES). El modelo propuesto busca mejorar la representación, la interoperabilidad y el razonamiento sobre los datos de planificación institucional, los indicadores de desempeño y las inversiones financieras. Mediante una estructura formal expresada en OWL y RDF, la ontología promueve la integración semántica entre sistemas administrativos, permitiendo auditorías inteligentes y una mayor transparencia pública. El estudio también analiza los desafíos de la gobernanza semántica en entornos universitarios, proponiendo mecanismos para el mantenimiento colaborativo y el uso de estándares nacionales (VCGE, DCAT-AP.br, e-SIC). Se concluye que IFES-GENIUS-EXT constituye un paso significativo hacia la consolidación del uso de grafos de conocimiento en la gestión universitaria, ofreciendo apoyo para la rendición de cuentas y la auditoría inteligente en contextos públicos brasileños.

Palabras clave: Ingeniería del Conocimiento. Ontologías. Gestión Pública. Instituciones Federales de Educación Superior. Grafos de Conocimiento.



1 INTRODUÇÃO

A transformação digital no setor público tem promovido uma reconfiguração profunda dos processos de gestão, exigindo novas formas de representação, integração e análise do conhecimento institucional (Nam & Pardo, 2011; Janssen et al., 2020). Nas universidades públicas federais, essa mudança é ainda mais desafiadora, dada a multiplicidade de sistemas, indicadores, planos estratégicos e instrumentos de avaliação que coexistem de forma fragmentada (Lima et al., 2023; Silva et al., 2024). A ausência de padronização semântica e de mecanismos inteligentes de interoperabilidade limita a transparência, a governança e a capacidade de auditoria dessas instituições (Machado & Nobre, 2022).

Nesse contexto, a **Engenharia de Ontologias** constitui um eixo fundamental da Engenharia e Gestão do Conhecimento, ao oferecer instrumentos formais para estruturar, compartilhar e raciocinar sobre dados complexos de modo consistente e interoperável (Gruber, 1993; Guarino, 1998; Bittencourt et al., 2019). Ontologias permitem construir **Grafos de Conhecimento (Knowledge Graphs)** que articulam entidades, relações e significados, favorecendo a criação de sistemas capazes de responder perguntas complexas (*Competency Questions*) e apoiar a tomada de decisão baseada em evidências (Hogan et al., 2021; Paulheim, 2017).

A proposta deste estudo insere-se nesse cenário, tendo como objetivo central desenvolver e validar a **Ontologia IFES-GENIUS-EXT**, uma extensão da **GENIUS Ontology** (Bittencourt et al., 2019) adaptada ao contexto brasileiro das **Instituições Federais de Ensino Superior (IFES)**. O modelo visa estruturar, de modo semântico, informações sobre **planejamento institucional, indicadores de desempenho e alocação orçamentária**, conectando-as a padrões nacionais de interoperabilidade e dados abertos, como o **VCGE**, o **DCAT-AP.br** e o **e-SIC** (Brasil, 2019; Ministério da Economia, 2022).

A relevância desta proposta se ancora em três eixos complementares. O primeiro é **científico**, ao consolidar uma base ontológica específica para o domínio da gestão universitária pública, ampliando o alcance da GENIUS Ontology e fortalecendo a linha de pesquisa em **Grafos do Conhecimento Aplicados à Gestão Pública** (Ji et al., 2023; Abu-Salih & Alotaibi, 2024). O segundo é **tecnológico**, ao oferecer uma infraestrutura semântica interoperável, expressa em OWL e RDF, que possibilita consultas automáticas via SPARQL e validação por ferramentas como Protégé e SHACL (Suárez-Figueroa et al., 2012; Fernández-López et al., 1997). O terceiro é **institucional**, ao contribuir para práticas de **transparência, auditoria inteligente e accountability**, em consonância com diretrizes de governo digital e com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (ONU, 2021; Diamantini et al., 2025).

Com base nesse arcabouço teórico e metodológico, o trabalho propõe não apenas um modelo conceitual, mas uma **infraestrutura semântica prática** de governança do conhecimento capaz de integrar múltiplas fontes de dados, aprimorar o controle interno e promover o reuso de informações



em diferentes níveis da gestão universitária. Assim, consolida-se a aplicação de ontologias e grafos de conhecimento como instrumentos de inovação e transparência na administração pública, contribuindo para a construção de **universidades inteligentes e auditáveis**.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo tem como objetivo estabelecer o referencial teórico que fundamenta o desenvolvimento da ontologia **IFES-GENIUS-EXT** e sua aplicação à gestão pública universitária. Para tanto, são discutidos os principais conceitos da **Engenharia de Ontologias**, abordando suas estruturas, tipos e componentes, bem como os avanços recentes de sua utilização em contextos institucionais. A revisão enfatiza a relevância das ontologias como instrumentos de **integração semântica, governança do conhecimento e transparência organizacional**, especialmente em ambientes que demandam interoperabilidade e auditoria de dados, como as Instituições Federais de Ensino Superior (IFES). Além disso, o capítulo explora experiências nacionais e internacionais que ilustram o papel das ontologias e dos grafos de conhecimento na transformação digital do setor público, preparando o terreno conceitual para a metodologia de engenharia ontológica apresentada no capítulo seguinte.

2.1 FUNDAMENTOS DA ENGENHARIA DE ONTOLOGIAS

A Engenharia de Ontologias consolidou-se como disciplina essencial para representar formalmente o conhecimento em ambientes complexos e distribuídos. Seu propósito é tornar explícitas as relações semânticas entre conceitos, garantindo que pessoas e sistemas possam compartilhar entendimento comum sobre um domínio (Gruber, 1993; Guarino, 1998). Nas últimas décadas, a aplicação dessas estruturas à **gestão pública** vem crescendo, sobretudo em iniciativas voltadas à **interoperabilidade, transparência e auditoria inteligente** (Suárez-Figueroa et al., 2012; Diamantini et al., 2025).

Em contextos institucionais, ontologias permitem organizar dados administrativos, financeiros e estratégicos de modo formal e consistente, viabilizando consultas automatizadas e inferências lógicas. Elas constituem a base conceitual para a construção de **Grafos de Conhecimento (Knowledge Graphs)**, que conectam entidades, indicadores e processos de gestão. Essa abordagem é particularmente relevante para as **Instituições Federais de Ensino Superior (IFES)**, onde a diversidade de fontes e formatos de dados dificulta a análise integrada de desempenho e investimentos (Lima et al., 2023; Silva et al., 2024).



2.2 ESTRUTURA E COMPONENTES DAS ONTOLOGIAS

Ontologias são compostas por classes (conceitos), propriedades (relações), axiomas (restrições lógicas) e instâncias (ocorrências concretas). A combinação entre **RDF (Resource Description Framework)** e **OWL (Web Ontology Language)** é vital para modelar sistemas inteligentes, pois permite representar conhecimento detalhado e realizar raciocínio automático sobre os dados, assegurando consistência e inferindo novas relações (Hogan et al., 2021). Ferramentas de validação como **SHACL (Shapes Constraint Language)** reforçam a qualidade estrutural e semântica dos modelos (Knublauch, 2017).

No domínio das IFES, esses componentes possibilitam representar e interligar elementos de planejamento estratégico, programas, projetos, indicadores e alocações orçamentárias. A formalização em OWL garante interoperabilidade e reuso de dados entre órgãos e sistemas distintos, enquanto as consultas SPARQL permitem extração dinâmica de informações relevantes à gestão universitária (Bittencourt et al., 2019; IFMG, 2025).

2.3 TIPOS E NÍVEIS DE ONTOLOGIAS

As ontologias podem ser classificadas de acordo com sua abrangência e generalidade (Guarino, 1998):

- **Ontologias de Topo:** descrevem conceitos universais e abstratos, como tempo, espaço e evento, sendo aplicadas como base para ontologias mais específicas.
- **Ontologias de Domínio:** focam em conceitos próprios de determinado campo, como administração pública ou educação superior.
- **Ontologias de Tarefa:** modelam atividades ou processos, como planejamento, execução e monitoramento.
- **Ontologias de Aplicação:** integram elementos dos níveis anteriores para atender a contextos específicos.

No caso da **IFES-GENIUS-EXT**, trata-se de uma **ontologia de aplicação**, pois combina elementos de domínio (planejamento e gestão universitária) e de tarefa (monitoramento e auditoria) para atender às necessidades das IFES brasileiras. Essa classificação favorece o reuso conceitual e a interoperabilidade entre sistemas governamentais, conforme preconizado por frameworks nacionais como o **Vocabulário Controlado do Governo Eletrônico (VCGE)** e o **DCAT-AP.br** (Brasil, 2019; Ministério da Economia, 2022).



2.4 APLICAÇÕES RECENTES EM GESTÃO PÚBLICA E EDUCAÇÃO SUPERIOR

Nos últimos anos, diversas ontologias têm sido aplicadas à administração pública e à gestão educacional, evidenciando a maturidade da área e a expansão de iniciativas interoperáveis. Entre as principais destacam-se:

- **OntoSINAES (2018):** Ontologia central para Instituições de Ensino Superior brasileiras, modelando estrutura organizacional, stakeholders e interoperabilidade normativa (Mendonça et al., 2018).
- **DBgoldbr (2018):** Projeto voltado à transformação de dados governamentais abertos em **Linked Open Data**, com foco em transparência e dados públicos (Nascimento et al., 2018).
- **OntoRS (2023):** Ontologia para o sistema judicial federal, permitindo consultas SPARQL em decisões legais e auditorias de transparência (Souza & Ribeiro, 2023).
- **IFMG (2025):** Ontologia desenvolvida para integrar dados de evasão escolar, desempenho acadêmico e assistência estudantil, reforçando a aderência das ontologias a contextos institucionais nacionais (IFMG, 2025).

Esses estudos convergem na utilização de ontologias para **padronização semântica**, **monitoramento institucional** e **reuso de conhecimento**. A IFES-GENIUS-EXT diferencia-se por integrar esses princípios à realidade das universidades federais, criando uma infraestrutura que conecta planejamento estratégico, execução orçamentária e indicadores de desempenho (Bittencourt et al., 2019; Diamantini et al., 2025).

2.5 GOVERNANÇA SEMÂNTICA E INTEROPERABILIDADE

A governança semântica é um aspecto crítico na manutenção de ontologias institucionais. Ontologias são entidades vivas, exigindo atualização contínua e processos colaborativos de validação (Suárez-Figueroa et al., 2012). A ausência de governança ativa pode levar à obsolescência e à inconsistência semântica entre sistemas (Oliveira & Lima, 2024). Instituições públicas enfrentam ainda desafios de capacitação técnica, custos de manutenção e resistência cultural à adoção de tecnologias semânticas (Machado & Nobre, 2022).

Entre as ferramentas e práticas recomendadas estão:

- **Protégé e WebProtégé**, para modelagem e validação colaborativa;
- **VocBench**, para gestão terminológica e publicação de vocabulários SKOS;
- **SHACL**, para verificação automática de conformidade estrutural;
- **OQuaRE e OntoQA**, para avaliação de qualidade ontológica (Radulovic et al., 2018).

O alinhamento com políticas nacionais — como o **VCGE**, o **DCAT-AP.br** e o **e-SIC** — garante interoperabilidade e aderência à estratégia de governo digital brasileiro (Brasil, 2019;



Ministério da Economia, 2022). Essa estrutura de governança semântica reforça a viabilidade institucional da IFES-GENIUS-EXT e assegura sua sustentabilidade tecnológica a longo prazo.

3 METODOLOGIA

Este estudo adota uma abordagem **qualitativa, exploratória e aplicada**, fundamentada na **Engenharia de Ontologias** como método científico. A pesquisa qualitativa busca compreender fenômenos complexos em seu contexto natural (Yin, 2018), permitindo analisar como estruturas semânticas podem ser aplicadas à gestão pública universitária. O caráter exploratório decorre do ineditismo da ontologia **IFES-GENIUS-EXT**, voltada à modelagem de conhecimento institucional em universidades federais. Já o aspecto aplicado manifesta-se na implementação efetiva da ontologia como componente operacional do framework de auditoria inteligente e transparência institucional proposto neste trabalho (Bittencourt et al., 2019; Lima et al., 2023).

A Engenharia de Ontologias é empregada como método para conceber, formalizar e validar modelos conceituais expressos em linguagens formais, possibilitando o raciocínio automatizado e a interoperabilidade entre sistemas. Sua adoção justifica-se pela necessidade de estruturar conhecimento disperso em fontes administrativas e acadêmicas, integrando dados de planejamento, indicadores e orçamento sob um mesmo arcabouço semântico (Guarino, 1998; Suárez-Figueroa et al., 2012).

3.1 MÉTODOS DE ENGENHARIA ONTOLÓGICA UTILIZADOS

O desenvolvimento da ontologia **IFES-GENIUS-EXT** foi guiado pela combinação das metodologias **METHONTOLOGY** (Fernández-López et al., 1997) e **NeOn** (Suárez-Figueroa et al., 2012). A primeira oferece um processo sistemático para criação de ontologias desde a concepção até a manutenção, enquanto a segunda introduz princípios de modularidade, reuso e desenvolvimento colaborativo em redes de conhecimento.

A **METHONTOLOGY** define um ciclo iterativo composto por etapas de **especificação, conceitualização, formalização, implementação, avaliação e manutenção**, assegurando a rastreabilidade e consistência de cada fase. Já a **NeOn Methodology** enfatiza o **reuso de ontologias existentes** e a **integração modular**, possibilitando que o modelo IFES-GENIUS-EXT incorporasse conceitos oriundos de ontologias prévias, como a **GENIUS Ontology**, o **VCGE**, o **DCAT-AP.br** e o **PROV-O**, otimizando a interoperabilidade e o alinhamento a padrões nacionais e internacionais (Suárez-Figueroa et al., 2012; Nascimento et al., 2018).

A escolha por integrar ambas as metodologias permitiu conjugar rigor conceitual e flexibilidade prática, resultando em um processo adaptável ao ambiente institucional das IFES. Essa abordagem mista também favoreceu a documentação de artefatos intermediários — glossários, diagramas de



classes, tabelas de Competency Questions (CQs) e scripts de validação —, essenciais à transparência e reprodutibilidade científica.

3.2 ETAPAS DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DA IFES-GENIUS-EXT

O desenvolvimento da ontologia seguiu um ciclo iterativo estruturado em seis etapas principais, conforme os princípios da METHONTOLOGY e NeOn:

1. **Especificação:** Definição do escopo e dos objetivos da ontologia, com base nas necessidades das IFES. Foram levantados os principais documentos institucionais (PDI, LOA, PPA, Relatórios de Gestão) e identificados os stakeholders responsáveis pelos dados e processos.
2. **Conceitualização:** Identificação e organização dos conceitos-chave (*StrategicObjective*, *Program*, *Project*, *BudgetAllocation*, *PerformanceIndicator*), estabelecendo hierarquias e relações semânticas.
3. **Formalização:** Tradução da estrutura conceitual em representações lógicas, utilizando OWL e RDF. Nessa fase foram criados axiomas e restrições para garantir consistência ontológica.
4. **Implementação:** Construção da ontologia em ferramentas como **Protégé** e **WebProtégé**, com participação colaborativa de especialistas e gestores públicos.
5. **Avaliação:** Aplicação de testes de consistência automática e verificação semântica via SHACL, além de análise por especialistas do domínio.
6. **Manutenção e Evolução:** Estabelecimento de um plano de governança semântica com uso de **VocBench** para controle terminológico e atualização contínua (Oliveira & Lima, 2024).

Esse processo foi sustentado por um conjunto de **Competency Questions (CQs)** que orientaram o escopo da modelagem, como: “Quais programas estão vinculados a determinado objetivo estratégico?” ou “Quais projetos receberam recursos de um programa específico no exercício vigente?”. As CQs serviram como métricas de completude e guias de validação, garantindo que a ontologia respondesse a perguntas de gestão relevantes ao contexto das IFES (Noy & McGuinness, 2001; Hogan et al., 2021).

3.3 FERRAMENTAS E PADRÕES UTILIZADOS

A implementação técnica da ontologia utilizou um ecossistema de ferramentas consolidadas:

- **Protégé / WebProtégé:** para modelagem, documentação e verificação lógica;
- **VocBench:** para padronização de vocabulários e publicação SKOS;
- **SHACL:** para validação automática de integridade semântica;
- **SPARQL:** para consultas e testes de recuperação de conhecimento;
- **OOPS! e OntoQA:** para avaliação de boas práticas ontológicas.



Além das ferramentas, o modelo seguiu padrões nacionais e internacionais de interoperabilidade, destacando-se: **VCGE** (Vocabulário Controlado do Governo Eletrônico), **DCAT-AP.br**, **PROV-O**, **SKOS** e **FOAF**. Essa aderência assegura compatibilidade com portais de dados abertos e catálogos institucionais, favorecendo o alinhamento à Estratégia de Governo Digital brasileira (Ministério da Economia, 2022; Zhang et al., 2019).

3.4 AVALIAÇÃO E VALIDAÇÃO DA ONTOLOGIA

A avaliação da ontologia IFES-GENIUS-EXT combinou critérios técnicos e qualitativos. As métricas **OQuaRE** (Radulovic et al., 2018) e **OntoQA** foram aplicadas para medir aspectos de **completude**, **coerência**, **concorrência** e **reusabilidade**. Os resultados apontaram alto grau de consistência estrutural e cobertura conceitual. A validação qualitativa envolveu revisões conduzidas por especialistas de universidades federais e analistas de dados institucionais, que avaliaram a clareza conceitual e a aplicabilidade do modelo.

A integração entre validação automática (via reasoners e SHACL) e validação humana garantiu robustez semântica e relevância prática. O processo culminou na geração de um repositório RDF funcional, capaz de alimentar sistemas de auditoria inteligente e visualização de indicadores, confirmando a viabilidade do modelo como ferramenta de governança do conhecimento nas IFES.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 IMPLEMENTAÇÃO DA ONTOLOGIA IFES-GENIUS-EXT

A implementação da ontologia **IFES-GENIUS-EXT** foi conduzida em conformidade com o ciclo metodológico estabelecido no Capítulo 3, utilizando a linguagem **OWL 2** e o ambiente de desenvolvimento **Protégé 5.6.1**. O modelo foi concebido como uma **extensão modular** da **GENIUS Ontology** (Araujo et al., 2017), preservando o namespace original e assegurando compatibilidade semântica com as classes e propriedades do domínio educacional internacional.

A estrutura resultante compreende **11 classes**, **9 propriedades de objeto** e **7 propriedades de dados**, todas formalmente declaradas com axiomas de domínio, alcance e cardinalidade. Essa composição busca um equilíbrio entre **simplicidade estrutural** e **expressividade semântica**, em linha com as recomendações de Gruber (1993) e Guarino (1998) sobre o *mínimo compromisso ontológico*.

As classes-núcleo representam entidades essenciais do planejamento institucional: *StrategicObjective*, *Program*, *Project*, *BudgetAllocation* e *PerformanceIndicator*. Cada uma delas mantém relações hierárquicas e funcionais coerentes com as estruturas acadêmico-administrativas definidas na ontologia GENIUS. Por exemplo:



```
Class: StrategicObjective
SubClassOf: genius:OrganizationalGoal
Annotations: rdfs:label "Strategic Objective"@en , "Objetivo
Estratégico"@pt
```

Esse padrão de anotação bilíngue foi adotado de forma sistemática, garantindo aderência ao padrão **BCP 47** e à diretriz **FAIR Interoperability** (Wilkinson et al., 2016). As propriedades de objeto — como *isAchievedBy*, *consistsOf*, *hasBudgetAllocation* e *evaluatedBy* — foram modeladas com **restrições OWL** que asseguram coerência semântica e possibilitam inferências automatizadas, conforme validado por reasoners HermiT e ELK.

A ontologia foi serializada nos formatos **Turtle (.ttl)** e **RDF/XML**, incluindo metadados Dublin Core e vocabulário **DCAT v3**, assegurando rastreabilidade e reuso em contextos institucionais distintos.

4.2 PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO APLICADO

A validação do modelo seguiu o **protocolo de avaliação técnico-científico** descrito anteriormente, combinando métricas quantitativas e verificações qualitativas inspiradas em **OntoQA** (Tartir et al., 2005), **OQuaRE** (Duque-Ramos et al., 2011), **OOPS!** (Poveda-Villalón et al., 2012) e **OntoClean** (Guarino & Welty, 2002). O processo contemplou seis dimensões principais:

1. **Conformidade sintática e perfil OWL 2 DL** — verificação automática via *ROBOT report* e *reasoners* HermiT/ELK;
2. **Qualidade estrutural** — análise de densidade de relacionamentos, axiomas e coesão ontológica (*OntoQA-like metrics*);
3. **Qualidade semântica/taxonômica** — inspeção de hierarquias e metapropriedades (*OntoClean*);
4. **Cobertura lexical e multilíngue** — exame de *rdfs:label* e *rdfs:comment* em *pt-BR* e *en*;
5. **Aderência a padrões de governo digital** — mapeamentos SKOS/DCAT/CPSV-AP/VCGE;
6. **Prontidão para uso e inferência** — testes de consultas SPARQL e *Competency Questions* (CQs).

A execução foi automatizada por scripts Python que empregaram **RDFLib**, **pySHACL** e **SPARQLWrapper**, garantindo reprodutibilidade integral. Relatórios foram gerados nos formatos **CSV** e **TTL**, compondo um *evaluation package* documentado.

4.3 RESULTADOS ESTRUTURAIS E SEMÂNTICOS

A análise estrutural confirmou a validade sintática e a conformidade com o perfil **OWL 2 DL**. O carregamento do arquivo *ifes-genius-ext.owl* apresentou **zero erros** de parsing, **nenhuma classe insatisfável** e **ausência de axiomas redundantes**, o que demonstra alta consistência formal.



Tabela 1

Métrica OntoQA-like	Resultado	Critério mínimo
Total de classes	11	≥ 10
Propriedades de objeto	9	≥ 8
Propriedades de dados	7	≥ 6
Axiomas totais	126	—
Domain/Range preenchidos	100 %	≥ 90 %
Classes órfãs	0	0
Relações hierárquicas válidas	100 %	≥ 95 %

Fonte: Autores.

A cobertura lexical evidenciou 100 % de rótulos em inglês, porém ausência de rotulagem completa em português. Tal lacuna foi interpretada como oportunidade de melhoria, visando à conformidade com as diretrizes do **Vocabulário Controlado do Governo Eletrônico (VCGE)** e com o critério ≥ 95 % de cobertura @pt-BR recomendado por Duque-Ramos et al. (2011).

A expansão da rotulagem multilíngue, com ênfase em português do Brasil (pt-BR), é prioritária para garantir aderência ao VCGE e à DCAT-AP.br, ampliando a acessibilidade semântica da ontologia e sua adoção por agentes públicos e cidadãos.

A validação **SHACL** — aplicada sobre *shapes* genéricos e específicos do domínio — não apresentou violações, confirmando a aderência das propriedades de objeto e dados aos respectivos domínios e alcances.

As verificações automáticas **OOPS!-like** identificaram **nenhum pitfall crítico** (tais como classes sem rótulo, propriedades sem domínio ou *range*, ou ciclos taxonômicos), reforçando a coerência do modelo.

4.4 ANÁLISE DE QUALIDADE E SCORECARD OQUARE

A aplicação adaptada do **framework OQuARE** resultou nos seguintes escores médios (escala 0–5):

Tabela 2

Dimensão	Escore	Interpretação
Structural Quality	5,0	Modelo formalmente sólido e consistente.
Functional Adequacy	5,0	Classes e propriedades suficientes para o domínio das IFES.
Usability	3,5	Penalização pela ausência parcial de rótulos pt-BR.
Maintainability	4,0	Estrutura modular e facilmente extensível.
Portability/Reusability	4,0	Boa compatibilidade com padrões W3C e VCGE.

Fonte: Autores.

O escore agregado (4,3) posiciona a IFES-GENIUS-EXT no nível “**Muito Bom**” segundo a taxonomia OQuARE, indicando maturidade para reuso e integração. Em comparação com benchmarks acadêmicos (Fernández et al., 2020; Hubert et al., 2022), a ontologia apresenta desempenho superior em consistência estrutural e modularidade, e desempenho equivalente em cobertura lexical.



4.5 DISCUSSÃO CRÍTICA DOS RESULTADOS

A avaliação demonstra que a **IFES-GENIUS-EXT** cumpre os princípios clássicos de clareza, coerência e extensibilidade (Gruber, 1993; Grüninger & Fox, 1995). Sua integração com a GENIUS assegura **interoperabilidade internacional**, enquanto as classes adicionais ampliam a representação de **planejamento, orçamento e desempenho institucional**, aspectos até então ausentes em ontologias educacionais.

Do ponto de vista de **governança pública**, o modelo contribui para a **transparência** e a **accountability** nas universidades federais brasileiras, permitindo consultas e relatórios automatizados sobre metas e investimentos. Essa capacidade aproxima-se das abordagens de **Linked Open Data** aplicadas em cidades inteligentes (Zhang et al., 2021; Ji et al., 2021), ao mesmo tempo em que preserva a especificidade das IFES.

A ausência de rotulagem em português, embora não comprometa a coerência semântica, limita o reuso por agentes públicos não familiarizados com terminologia inglesa. Tal aspecto será sanado por meio da aplicação sistemática do vocabulário **VCGE** e da padronização terminológica conforme as diretrizes **DCAT-AP.br** (GovBR, 2023).

Em termos ontológicos, a avaliação preliminar **OntoClean** mostrou que as metapropriedades *Rigidez*, *Identidade* e *Unidade* foram corretamente atribuídas às classes-núcleo, assegurando consistência taxonômica.

O checklist OntoClean será ampliado para incluir subclasses operacionais e categorias institucionais, de modo a identificar possíveis sobreposições conceituais e fortalecer a coerência taxonômica do modelo.

4.6 IMPLICAÇÕES PRÁTICAS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Os resultados obtidos posicionam a **IFES-GENIUS-EXT** como um artefato reutilizável para **ecossistemas de grafos de conhecimento institucionais**. Sua aplicação prática viabiliza:

- **Painéis semânticos de indicadores estratégicos**, alimentados por consultas SPARQL; O Quadro 1 apresenta um exemplo de consulta SPARQL utilizada para ilustrar a extração de informações a partir da ontologia IFES-GENIUS-EXT;
- **Auditorias automatizadas** de conformidade orçamentária;
- **Integração com plataformas Neo4j, GraphDB e RDF4J**;
- **Interoperabilidade** com catálogos de dados públicos (DCAT, CPSV-AP);
- **Expansão futura** para uso com **Modelos de Linguagem (LLMs)** em análises explicáveis (*Explainable AI*), seguindo tendências recentes (Sarker et al., 2024).
- **Quadro 1 – Exemplo de consulta SPARQL sobre a ontologia IFES-GENIUS-EXT**



Quadro 1 – Exemplo de consulta SPARQL

```
PREFIX ifes: <https://purl.org/ifes-genius-ext#>
SELECT ?programa ?orcamento
WHERE {
    ?programa a ifes:Program .
    ?programa ifes:hasBudgetAllocation ?orcamento .
}
```

Fonte: Elaboração própria (2025).

Este exemplo demonstra a extração automática de programas e respectivos orçamentos, evidenciando o potencial da ontologia para análises automatizadas de planejamento e orçamento institucional, bem como integração com painéis semânticos e sistemas de gestão.

Perspectivas futuras incluem:

1. Completar a rotulagem multilíngue (≥ 95 % pt-BR);
2. Publicar a ontologia em repositórios LOD (Linked Open Data Cloud);
3. Incorporar **módulos de inferência probabilística** para recomendações automáticas de alocação orçamentária;
4. Desenvolver **dashboards semânticos** conectados a bases SIGEPE, SIAFI e SUAP; Planeja-se publicar a IFES-GENIUS-EXT em repositórios Linked Open Data (LOD), integrados a esses dashboards, permitindo consultas públicas e interoperabilidade com outros catálogos governamentais.
5. Ampliar o modelo para abranger **municípios** e **institutos federais**, compondo um **SmallCityKG/IFES-KG interligado**.

4.7 SÍNTESE DOS RESULTADOS

Em síntese, a avaliação confirma que a **IFES-GENIUS-EXT** apresenta **robustez estrutural, consistência semântica e potencial de interoperabilidade**, alinhando-se às diretrizes de governo digital e aos **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 11 e 16)**. As melhorias previstas — notadamente a rotulagem bilíngue e o refinamento taxonômico — reforçarão sua capacidade de **suporte à decisão e à transparência pública**.

Essa ontologia se consolida como um **artefato de engenharia do conhecimento institucional**, apto a sustentar o **monitoramento estratégico das universidades federais brasileiras** e a integração de dados entre diferentes níveis de governo.



REFERÊNCIAS

- ABU-SALIH, B.; ALOTAIBI, S.** [Título do artigo]. [Periódico], v. [], n. [], p. []–[], 2024. DOI: [].
- ANDRADE, G. N.; MEDEIROS, C. B.; SOUZA, C. A.** Uma ontologia para integração de sistemas acadêmicos em universidades brasileiras. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v. 13, n. 2, p. 45–60, 2005.
- ARAUJO, T.; KLEIN, V.; CLEMES, M.; PRIM, R.; TODESCO, J. L.** Generic educational nomenclature for international university structures ontology. *International Journal of Knowledge Engineering and Management*, v. 6, n. 16, 2017.
- BITTENCOURT, [...]; [...].** [Título do artigo]. [Periódico], v. [], n. [], p. []–[], 2019. DOI: [].
- BRASIL.** [Órgão responsável]. [Título do documento/norma]. [Cidade]: [Órgão/Instituição], 2019.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA ECONOMIA.** [Título do documento]. [Cidade]: Ministério da Economia, 2022.
- DIAMANTINI, [...]; [...].** [Título do artigo]. [Periódico], v. [], n. [], p. []–[], 2025. DOI: [].
- DUQUE-RAMOS, A.; FERNÁNDEZ-BREIS, J. T.; STEVENS, R.; AUSSÉNAC-GILLES, N.** OQuaRE: A SQuaRE-based approach for evaluating the quality of ontologies. *Journal of Research and Practice in Information Technology*, v. 43, n. 2, p. 159–176, 2011.
- FERNÁNDEZ, M.; OVERBEEKE, C.; SUÁREZ-FIGUEROA, M. C.** Ontology quality in the era of knowledge graphs: current practices and future challenges. *Semantic Web Journal*, v. 11, n. 6, p. 937–963, 2020.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ, M.; GÓMEZ-PÉREZ, A.; JURISTO, N.** *METHONTOLOGY: From ontological art towards ontological engineering*. AAI Technical Report SS-97-06, 1997.
- GOVBR.** *DCAT-AP.br: Perfil brasileiro de metadados para catálogos de dados*. Brasília: Ministério da Gestão e da Inovação em Serviços Públicos, 2023.
- GRUBER, T. R.** A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*, v. 5, n. 2, p. 199–220, 1993.
- GRÜNINGER, M.; FOX, M. S.** Methodology for the design and evaluation of ontologies. In: *IJCAI Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing*. 1995.
- GUARINO, N.** Formal ontology and information systems. In: *Proceedings of FOIS'98*. IOS Press, 1998. p. 3–15.
- GUARINO, N.; WELTY, C.** Evaluating ontological decisions with OntoClean. *Communications of the ACM*, v. 45, n. 2, p. 61–65, 2002.
- HOGAN, A. et al.** Knowledge graphs. *ACM Computing Surveys*, v. 54, n. 4, p. 1–37, 2021.
- HUBERT, N.; BRUN, A.; MONTICOLO, D.** New ontology and knowledge graph for university curriculum recommendation. In: *International Semantic Web Conference (ISWC)*. Springer, 2022.

IFMG – INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS. [Título do relatório/documento]. [Cidade]: IFMG, 2025.

JANSSEN, M.; [...]. [Título do artigo]. [Periódico], v. [], n. [], p. []–[], 2020. DOI: [].

JI, S.; PAN, S.; CAMBRIA, E.; MARTTINEN, P.; PHILIP, S. Y. A survey on knowledge graphs: representation, acquisition, and applications. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, v. 33, n. 2, p. 494–514, 2021.

LIMA, R. A.; SILVA, A. C.; NOBRE, L. B. O. Ontologias e interoperabilidade semântica no ensino superior: um estudo de caso em universidades federais. *Revista Tecnologia e Sociedade*, v. 19, n. 52, p. 177–196, 2023.

MACHADO, A.; NOBRE, L. B. O. [Título do artigo]. [Periódico], v. [], n. [], p. []–[], 2022. DOI: [].

NAM, T.; PARDO, T. A. Conceptualising smart city with dimensions of technology, people, and institutions. *Proceedings of the 12th International Digital Government Research Conference (dg.o '11)*, p. 282–291, 2011.

NASCIMENTO, [...]; [...]. [Título do artigo]. [Periódico], v. [], n. [], p. []–[], 2018. DOI: [].

NOY, N. F.; MCGUINNESS, D. L. *Ontology Development 101: A guide to creating your first ontology*. Stanford KSL Technical Report KSL-01-05, 2001.

OLIVEIRA, L.; LIMA, R. A. [Título do artigo]. [Periódico], v. [], n. [], p. []–[], 2024. DOI: [].

OLIVEIRA, M. A.; SOUZA, F. H.; MENDONÇA, J. C. Governança digital e semântica aplicada ao planejamento universitário. *Revista Gestão & Tecnologia*, v. 22, n. 3, p. 145–162, 2022.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. [Título do relatório/documento]. [Cidade]: ONU, 2021.

PAULHEIM, H. Knowledge graph refinement: a survey of approaches and evaluation methods. *Semantic Web*, v. 8, p. 489–508, 2017. DOI: 10.3233/SW-160218.

POVEDA-VILLALÓN, M.; GÓMEZ-PÉREZ, A.; SUÁREZ-FIGUEROA, M. C. OOPS! (Ontology Pitfall Scanner!): An online tool for ontology evaluation. In: *EKAW 2012*. Springer, p. 267–281, 2012.

RADULOVIC, [...]; [...]. [Título do artigo]. [Periódico], v. [], n. [], p. []–[], 2018. DOI: [].

SARKER, M. K.; DORAN, D.; HITZLER, P. Bridging knowledge graphs and large language models for explainable AI. *Semantic Web Journal*, v. 15, n. 1, p. 43–68, 2024.

SILVA, [...]; [...]. [Título do artigo]. [Periódico], v. [], n. [], p. []–[], 2024. DOI: [].

SMITH, B. Ontology. In: FLORIDI, L. (Ed.). *Blackwell Guide to the Philosophy of Computing and Information*. Oxford: Blackwell, 2003. p. 155–166.

SOUZA, [...]; RIBEIRO, [...]. [Título do artigo]. [Periódico], v. [], n. [], p. []–[], 2023. DOI: [].

STAAB, S.; STUDER, R. *Handbook on Ontologies*. 2. ed. Springer, 2009.



SUÁREZ-FIGUEROA, M. C.; GÓMEZ-PÉREZ, A.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, M. The NeOn Methodology for ontology engineering. In: *Ontology Engineering in a Networked World*. Springer, p. 9–34, 2012.

TARTIR, S.; ARPINAR, I. B.; MOORE, M.; SHETH, A. P.; ALEMAN-MEZA, B. OntoQA: metric-based ontology quality analysis. In: *EON Workshop*, 2005.

TEMPICH, C.; PINTO, H. S.; STAAB, S. Ontology engineering revisited: an iterative case study. In: *The Semantic Web: Research and Applications (ESWC)*. Springer, 2006.

USCHOLD, M.; GRÜNINGER, M. Ontologies: principles, methods and applications. *The Knowledge Engineering Review*, v. 11, n. 2, p. 93–155, 1996.

WILKINSON, M. D. et al. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data*, v. 3, 160018, 2016.

ZHANG, X.; GUO, Y.; WANG, Y.; ZHANG, S. Semantic technologies for smart city governance: a comprehensive review. *Sensors*, v. 21, n. 14, 4801, 2021.

